

MODERN STANDARDS OF INTEGRATED MANAGEMENT AND WAYS OF THEIR IMPLEMENTATION IN UKRAINE

O. Pupena, I. Elperin, R. Mirkevych
National University of Food Technologies

Key words:

ISA-95
ISA-88
Manufacturing
Operations Management
MES
RAMI 4.0
Industry 4.0

Article history:

Received 03.11.2016
Received in revised form
12.12.2016
Accepted 25.12.2016

Corresponding author:

O. Pupena
E-mail:
pupena_san@ukr.net

ABSTRACT

The article deals with modern international standards for development of integrated automated control systems. The scope of standards in the context of a hierarchical model of enterprise reference model and device RAMI of platform Industry 4.0 is presented. The main essence of the standards is described via the basic descriptive models: product definition, resources, schedules and actual performance of industrial activity. The authors presented the product definition by hierarchical presentation of products at various levels of management. Much attention is given to describe the equipment, which is the logical chain to all the standards. The article shows the hierarchy of planning ERP-MES(MOM)-SCADA (in terms of standard ISA-95), which traced the decomposition of common production plans of enterprises for specific works at PCS. The authors consider the appointment of actual production performance at MES/MOM based KPI. A general circuit diagram of the relationship of activities and information flows between the functions of generalized picture are shown operating on a level of MES/ MOM.

СУЧАСНІ СТАНДАРТИ ІНТЕГРОВАНОГО КЕРУВАННЯ І ШЛЯХИ ЇХ ВПРОВАДЖЕННЯ В УКРАЇНІ

О.М. Пупена, І.В. Ельперін, Р.М. Міркевич
Національний університет харчових технологій

У статті розглянуто сучасні міжнародні стандарти з розробки інтегрованих автоматизованих систем керування. Визначено сферу дії стандартів у контексті ієрархічної моделі підприємства, а також еталонної моделі пристроїв RAMI платформи Industry 4.0. Суть стандартів визначено через призму основних описових моделей: означення продукту, ресурсів, планів-графіків і фактичних показників виробничої діяльності. Означення продукту передбачає ієрархічне представлення продуктів на різних рівнях керування. Велику увагу приділено опису такого типу ресурсів, як обладнання, що є сполучною ланкою для всіх наведених стандартів. В ієрархії планування ERP-MES(MOM)-SCADA (з точки зору стандарту ISA-95) прослідковується декомпозиція загальних виробничих планів підприємства до конкретних робіт на рівні АСКТП. Проаналізовано призначення фактичних показників

виробництва на рівні MES/MOM з урахуванням KPI. Через загальні схеми діаграми взаємозв'язку діяльностей та інформаційні потоки між функціями показано узагальнену картину операційної діяльності підприємства на рівні MES/MOM.

Ключові слова: *ISA-95, ISA-88, Manufacturing Operations Management, MES, RAMI 4.0, Industry 4.0.*

Постановка проблеми. Світова практика впровадження інтегрованих систем керування виробничим підприємством показує значне підвищення ефективності їх роботи за рахунок зменшення енергозатрат, виробничих простоїв, оптимального розподілу матеріальних та енергетичних потоків, використання прихованих резервів, підвищення спостережності та керованості об'єкта [1]. За останні 20 років людство значно просунулось у напрямку від часткової автоматизації технологічних та організаційно-економічних процесів до створення єдиного інтегрованого виробництва, впроваджуючи кращі практики в керуванні та новітні інформаційні технології. Результати цієї діяльності були затверджені у ряді міжнародних стандартів, а також описані у великій кількості статей і посібників [2—5]. Значний внесок у цю діяльність зробила некомерційна організація MESA International [5], членами якої є виробники спеціалізованого програмного забезпечення, інтегратори, промисловці і фізичні особи, у тому числі з академічної спільноти. Найбільш передові стандарти затвердила організація ISA (International Society of Automation) [6].

У той же час із тотальним впровадженням Інтернету в усі сфери діяльності життя людини, розвитком і здешевленням інтелектуальних засобів автоматизації та мобільних пристроїв принципи побудови автоматизованих систем усе більше направлені на розподілене керування з можливістю використання глобальних ресурсів через Інтернет, тому на сьогодні у світі домінують дві сучасні взаємодоповнюючі парадигми побудови систем керування — це IIoT (Industrial Internet of Things, США, Америка, деякі країни Європи та Азії) та Industry 4.0 (Німеччина, Європа) [7—9]. IIoT направлений на автоматизацію всіх сфер діяльності з використанням технологій та інфраструктури Internet, тоді як Industry 4.0 більше зосереджений на автоматизації промислового виробництва. Разом з тим, ключові перевірені стандарти інтегрованого керування є складовою цих парадигм, хоч і дещо адаптовані під нові вимоги.

Наявність світових стандартів говорить про успішне використання затверджених у них технологій, а наявність навчальних посібників — існуючих шкіл підготовки кадрів. На противагу такій великій кількості освітнього контенту в усьому світі в Україні, на жаль, ці стандарти, сучасні парадигми та викладені в них технології практично невідомі фахівцям. Інформація про ці стандарти та їх призначення тільки недавнім часом почали з'являтися в українських ресурсах [10], а їх висвітлення практично відсутнє. Це означає, що до розробки інтегрованих автоматизованих систем керування навіть на вітчизняних виробничих підприємствах українські системні інтегратори практично не готові.

Окремої уваги потребує питання руху українського виробництва, інтеграторів, IT та інженерії в ногу з Industry 4.0. Наразі існує проблема навіть в

освітленні та донесенні до всіх стейкхолдерів систем керування самої потреби в такому русі та навіть факту існування Industry 4.0.

Ми вважаємо, що для успішного розвитку галузі автоматизації в Україні необхідний аналіз і популяризація світових стандартів з подальшою їх локалізацією. Дана стаття призначена для ознайомлення з основними ідеями, закладеними в стандартах ISA-88, ISA-95, ISA-106, які є найбільш вагомими для розробки інтегрованих автоматизованих систем керування, та їх місця в платформі Industry 4.0.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Серед найбільш важливих стандартів, в яких систематизовані кращі практики розробки інтегрованих автоматизованих систем керування (IACK), можна назвати американські стандарти ANSI/ISA-95 [11—13] та аналогічні їм світові аналоги IEC-62264 (МЕК-62264), які, по суті, є адаптацію ISA. В Україні, на жаль, ці стандарти не прийняті на державному рівні, незважаючи на спрямованість на гармонізацію українських стандартів з європейськими. Для порівняння: у Росії ці стандарти прийняті та локалізовані як ГОСТ Р МЭК 62264-1 [14] у 2010 р., що робить їх використання пріоритетними над корпоративними.

Для розуміння місця сучасних стандартів в інтегрованому виробництві слід розглядати їх в контексті функціональної структури, яка наведена в першій частині ISA-95 (див. рис. 1). Згідно з цим стандартом, ієрархія керування виробничим підприємством описується чотирма рівнями: 1-й і 2-й рівень призначений для керування технологічним процесом, 3-й – керування виробничими операціями (MOM), 4-й — для бізнес-планування та логістики. Слід зазначити, що ця функціональна структура інтегрованого виробництва жодним чином не накладає вимоги щодо конкретної реалізації функцій, тобто технічну структуру. Так, наприклад, деякі всесвітньо відомі програмні продукти охоплюють частину функцій з кожного з наведених рівнів, але не реалізують весь перерахований функціонал. З цих же причин в ISA-95 третій рівень прийнято називати MOM (Manufacturing Operations Management) а не MES (Manufacturing Execution System), тому що MOM охоплює більше функцій, ніж це заявлено моделлю MESA. Так, наприклад, MOM включає в себе ряд функцій оперативного керування з обслуговування фізичних активів підприємства, що не передбачається моделлю MES.

Виконання функції 4-го рівня, як правило, охоплюються системами типу ERP (Enterprise Resource Planning). Перша та друга частина стандарту ISA-95, які були затверджені першочергово, якраз призначені для вирішення проблем інтеграції систем ERP та MOM. Тобто вони передбачають опис (модель) представлення даних, якими будуть обмінюватися ці системи. Слід зазначити, що в стандартах відсутні вимоги до внутрішньої структури цих систем і реалізації конкретних функцій. Висуваються вимоги тільки до їх взаємодії (опису даних) на різних рівнях керування, що дасть змогу інтегрувати різні, навіть існуючі реалізації, вносячи певні зміни до їх інтерфейсної частини.

Третя та четверта частина стандарту (ISA-95.03 та ISA-95.04) зосереджується на взаємодії функцій всередині рівня MOM та з 2-м рівнем функціональної

моделі. Певним чином цей стандарт описує модель самих функцій з точки зору взаємодії між ними. Як і в перших частинах, описується тільки структура самих даних, якими обмінюються функції, а не програмний інтерфейс.



Рис. 1. Функціональна ієрархічна структура виробничим підприємством згідно з ISA-95 (MEK 62264)

У сучасних системах керування реалізація першого та другого рівня, згідно з наведеною моделлю, охоплюється автоматизованими системами керування технологічними процесами (АСКТП), на які не поширюється стандарт. Однак у даній моделі вже прийнято розділення між типами виробничих процесів:

1. Batch Control — керування періодичним (порційним, малосерійним) виробництвом.

2. Continuous Control — керування неперервним виробництвом.

3. Discrete Control — керування дискретним виробництвом.

Це розділення зумовлене певними особливостями виробництва, що, як відомо, накладає свій відбиток на особливості керування виробничими процесами. Для інтегрування систем цих рівнів у загальну систему керування виробництвом вони повинні бути попередньо підготовлені. По-перше, керування виробничим підприємством вимагає представлення ресурсів і діяльності цих рівнів у вигляді моделей, які відрізняються для різних типів виробництв. По-друге, алгоритми керування 2-го рівня повинні враховувати необхідність реалізації двосторонньої інтеграції за принципом: вниз — планування, вгору — фактичний стан. Для цього в керуванні періодичним виробництвом (Batch Control) вже довгий час використовується стандарт ISA-88. Адаптація цього стандарту зроблена також і для дискретних виробництв. Для неперервних виробництв теж існують адаптації стандартів ISA-88, однак вже близько десяти років ведуться роботи над стандартом ISA-106, який призначений саме для таких об'єктів. Зараз робота над ISA-106 триває, а

попередні результати висвітлені в технічному звіті (ISA-TR106). У стандартах ISA-88 та ISA-106 закладені правила побудови систем керування технологічними процесами, які передбачають їх інтеграцію в єдину IACK, побудовану згідно зі стандартом ISA-95.

Таким чином, на сьогодні група стандартів ISA охоплює керівну діяльність практично усіх трьох нижніх рівнів ієрархії керування виробничим підприємством [16—21]:

1. ISA 95.01 та ISA 95.02 — моделі даних в обміні між 3-м (MOM) і 4-м (ERP) рівнем.

2. ISA 95.03 та ISA 95.04 — моделі даних в обміні між функціями 3-го рівня (MOM) та частково обміну з 2-м.

3. ISA 95.05 — високорівневий протокол для обміну даними 3-го (MOM) і 4-го (ERP) рівня.

4. ISA 88.01, ISA 88.02, ISA 88.03, ISA 88.04, ISA-88.05 — стандарти для керування періодичним виробництвом.

5. ISA TR88.02 — адаптація стандартів ISA-88 для задач пакування продукції (дискретні процеси).

6. ISA TR88-95.00.01 — технічний звіт про сумісне використання ISA-88 та ISA-95.

7. ISA TR106 — технічний звіт про розробку стандартів керування неперервним виробництвом.

Вище наведені тільки стандарти ISA, хоч більшість з них має аналоги ІЕС(МЕК), які переважно приймаються шляхом простого затвердження оригінальних стандартів ISA. Враховуючи певну інерційність у процесі затвердження європейських аналогів (як правило, більше трьох років), нижче ми зупинимося на огляді тільки оригінальних версій ISA.

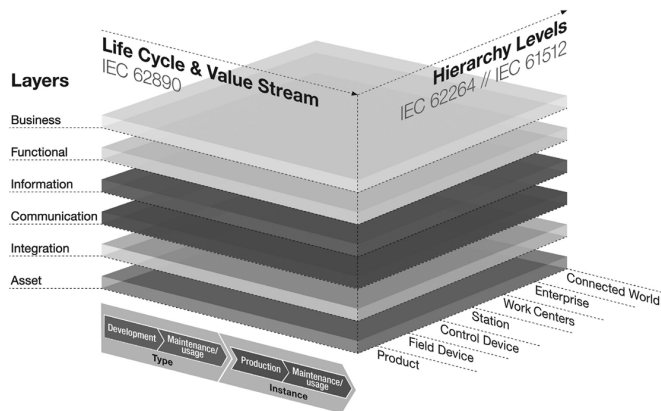


Рис. 2. Еталонна архітектурна модель Industry 4.0 (RAMI 4.0)

Наведені вище стандарти є складовими інших стандартів і парадигм, зокрема Industry 4.0. З ідеями Industry 4.0 (німецькою Industrie 4.0) можна ознайомитися в [22—24]. Так, концепція керування виробництва майбутнього базується на представленні всіх засобів, а також продуктів виробництва в контексті єдиної еталонної архітектурної моделі RAMI 4.0 (рис. 2). У цій

тривимірній моделі одна з осей представляє ієрархічні рівні підприємства, які базуються на моделі обладнання зі стандартів IEC 62264 (ISA-95) та IEC 61512 (ISA-88).

Метою статті є ознайомлення з основними ідеями, закладеними в стандартах ISA-88, ISA-95, ISA-106, які є найбільш вагомими для розробки інтегрованих автоматизованих систем керування, та визначення їх місця в платформі Industry 4.0.

Викладення основних результатів дослідження. Незважаючи на велику кількість англomовного матеріалу, він важкодоступний українським спеціалістам з автоматизації як через специфічну англomовну термінологію, так і через необхідність придбання самих стандартів. Це значно гальмує впровадження сучасних стандартів в Україні. Нижче стисло описано основні ідеї стандартів інтегрованого керування, а також можливі шляхи їх впровадження.

Для можливості аналізу плінного стану виробничого підприємства та керуванням ним його активи та діяльність повинні бути описані набором взаємопов'язаних моделей. Ключовою ідеєю стандартів є означення цих моделей на різних рівнях керування та в різних виробничих областях. Стандарти дають чіткі інструкції щодо представлення виробничих ресурсів підприємства, їх стану, потенціалу та фактичного використання, щодо декомпозиції загальних функцій моніторингу та керування виробничими процесами, щодо планування випуску продукції та гнучкого формування нового типу продукту. Ці рекомендації були неодноразово перевірені на виробництві, тобто є кращими практиками, тому навіть у випадку побудови систем керування без посилання на ці стандарти як нормативні, їх використання дає досить повне представлення категорій, якими можна описати більшість типів виробничих підприємств.

У загальному випадку керування операціями для виготовлення продукції можна описати набором взаємопов'язаних моделей:

- означення продукту, тобто з чого (матеріали), яким чином (необхідні роботи і вимоги до обладнання) виготовити продукт;
- доступні ресурси, тобто що є (матеріали, обладнання, інші ресурси) для виготовлення продукту;
- виробничий план, тобто коли і з якими доступними ресурсами планується виготовлювати продукт;
- фактичні показники виробництва, тобто як проходить виготовлення продукту.

У новій версії стандарту ISA-95 подібні моделі використовуються не тільки для опису керування операціями виготовлення продукції (Production Operations Management), але і для опису таких діяльностей, як керування операціями технічного обслуговування (Maintenance Operations Management), керування операціями забезпечення якості (Quality operations management) та керування операціями матеріально-технічного забезпечення (Inventory operations management). Таке представлення розширює сферу дії стандарту ISA-95 на всі функції рівня MOM промислового підприємства, а не тільки на ті, що стосуються виготовлення продукції. У свою чергу, стандарти ISA-88 та ISA-106 направлені саме на функції виготовлення продукції. Нижче основні ідеї стандартів представлені саме через них.

Означення продукту. Першим розробленим стандартом із наведених вище був ISA-88, саме він заклав дуже важливі фундаментальні принципи керування виробництвом. Мабуть, найбільш новаторською концепцією в ньому стало розділення керівних діяльностей на дві різні категорії: керування технологічним процесом і керування роботою обладнання. Таке розділення надає можливість використовувати одне і те саме обладнання для виробництва різних продуктів, що є принциповим при виготовленні багатоасортиментної продукції за змінного технологічного регламенту (рецептури). Необхідні матеріали (тип, кількість, вимоги), очікувані продукти (кількість, параметри), вимоги до обладнання, вимоги до додаткових ресурсів, потрібні роботи з керування процесом — все це описується в означенні продукту.

У термінах ISA-88 таке означення продукту записується в рецепті (Recipe), а в ISA-95 — в моделі означення виробу (Product definition model). Слід зазначити, що в самому означенні продукту вказується послідовність технологічних операцій, що дозволяє «програмувати» виробничий процес для окремого продукту. Це є принципово новим підходом, що дає змогу виробляти новостворені продукти, не вносячи при цьому зміни в структуру і програму системи керування. Такий підхід вимагає його підтримки на всіх рівнях керування, задіяних в цій функції. У термінах ISA-88 технологічні програми, які записуються в рецепті, оперують технологічними термінами типу «нагріти до 80 °С», «перемішувати протягом 30 хв», і називаються процедурним керуванням (Procedural Control). Програма в рецептах (рецептурне керування) не може виконуватися без обладнання, тому передбачається, що воно буде реалізоване з використанням апаратного керування (Equipment Control), яке реалізоване в системі керування конкретним обладнанням.

У ISA-88 загальне означення продукту для конкретної технологічної ділянки (комірки), що виготовлює партію продукту (Batch), описується майстер рецептом (Master Recipe). Технологічна програма в майстер рецепті може виконуватися на різному обладнанні. Для кожної партії продукту створюється своя копія майстер-рецепту з унікальним ідентифікатором (номером партії), в якій вказується вже конкретне обладнання, що буде задіяне в процесі. Ця копія, яка називається керівним рецептом (Control Recipe), в процесі приготування партії може змінюватися (технологічні параметри, обладнання й технологічна програма). Крім того, керівний рецепт є тим об'єктом, на якому зосереджується вся архівна інформація про проходженню процесу приготування цієї партії продукту, що дозволяє проводити її генеалогію.

У ISA-95 означення продукту описується моделлю означення виробу (Product Definition), яка, у свою чергу, є частковим випадком моделі означення операції (Operation Definition). Нагадаємо, що нова версія стандарту ISA-95 надає універсальній моделі операцій (Operation), оскільки в перелік функцій входять не тільки діяльності з виготовлення продукції, а й технічне обслуговування, організація робіт із забезпечення якості та матеріально-технічного забезпечення. Хоч опис моделей може здатися досить складним (усі моделі в стандартах даються в нотації UML), однак вони описуються за тим же принципом, що і в ISA-88.

Доступні ресурси. Окрім означення продукту, для виготовлення необхідного виробу необхідні ресурси, які згідно зі стандартами також описуються набором моделей. У ISA-88 та ISA-106 окремо виділеними ресурсами є обладнання (Equipment), яке забезпечує вироблення продукції. Усі інші ресурси (необхідні матеріали, енергетичні ресурси, персонал) входять як параметри керування обладнанням. У ISA-95 для всіх типів ресурсів передбачені окремі моделі. Моделі обладнання пересікаються у всіх наведених вище стандартах і є їх «спільним знаменником» (рис. 3).

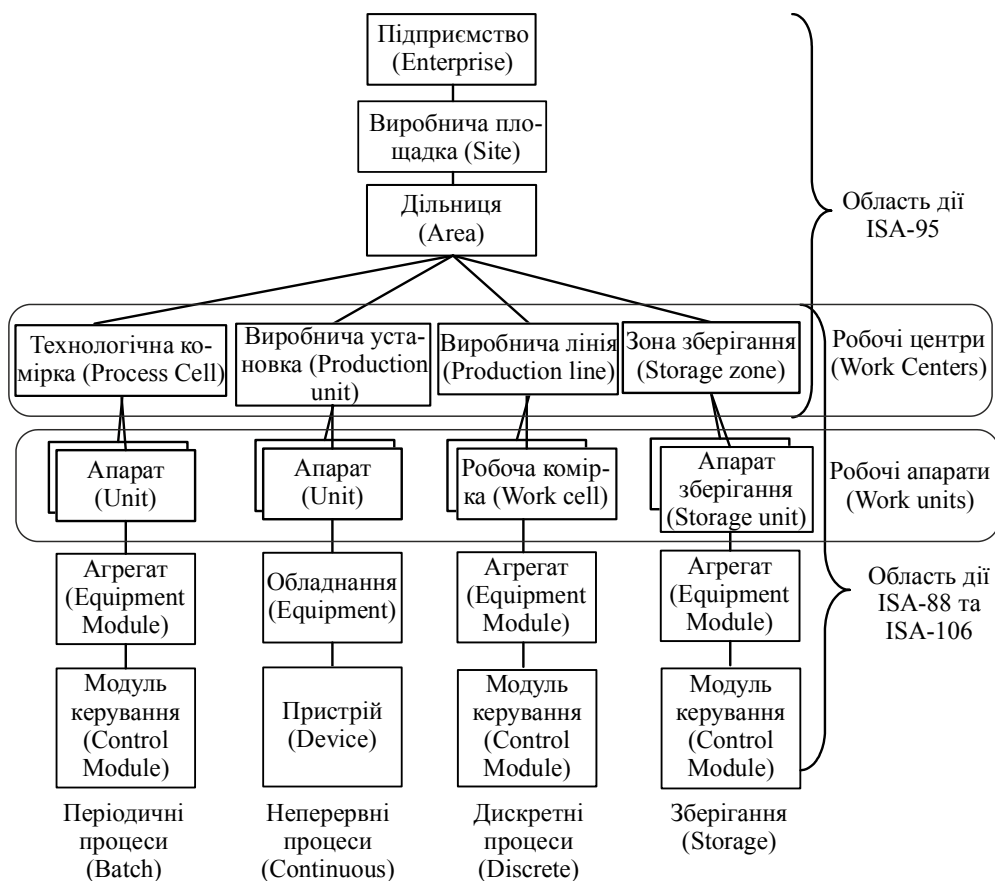


Рис. 3. Загальна модель ієрархії обладнання (фізична модель) для ISA-95 та ISA-88

Стандарт ISA-95 охоплює діяльність верхніх чотирьох рівнів фізичної моделі:

1. Підприємство (Enterprise) — це виробничий комплекс, що відповідає за певну номенклатуру виробів, які випускаються, виробничих площадок, на яких вони випускаються, та способів виробництва. Наприклад, це може бути агропромислове підприємство з декількома цукровими заводами, розташованими в різних місцях.

2. Виробнича площадка (Site) — це група об'єднаних об'єктів, що забезпечують виробництво відповідно до календарного плану. Наприклад, це може бути цукровий завод.

3. Виробнича ділянка (Area) — це група об'єктів в рамках виробничої площадки, що забезпечує виробництво відповідно до виробничої потужності, характеризуються виробничими можливостями. Наприклад, для цукрового заводу це може бути лінія виробництва цукру-піску та ТЕЦ, а для молочного — сирний цех або масло-цех.

4. Робочий центр — це технологічна комірка (Process Cell) для періодичних процесів, виробнича установка (Production Unit) для неперервних чи виробнича лінія (Production Line) для дискретних:

- представлення моделі технологічної комірки описується в ISA-88. Наприклад, для молочного виробництва технологічною коміркою може бути лінія приготування цільно-молочної продукції або її частина;

- представлення моделі виробничої установки описується в технічних звітах ISA-106 [28, 29]. Прикладом виробничої установки для цукрового виробництва є всі відділення з неперервними процесами, в т.ч. тракт подачі і мийки буряку, дифузійне відділення, відділення очистки тощо;

- представлення моделі технологічної лінії для дискретних виробництв може бути описане аналогічно (як в ISA-TR88.00.02) [19]. Це, наприклад, можуть бути складальні лінії виробництва побутової техніки.

Четвертий рівень описується також стандартами ISA-88 або ISA-106 разом з нижчими трьома. Нижні три рівні повністю пов'язані з фізичним обладнанням, над яким проводиться декомпозиція за функціональними ознаками.

Вище написано, що платформа Industry 4.0 також базується на ISA-95/88. Але згідно з RAMI 4.0, модель обладнання має свої розширення (рис. 2). Додатково до основних рівнів доданий рівень «Product» (продукту, виробу) та «Connected World» (під'єднаний світ). Рівень продукту (виробу) передбачає участь у процесах виробництва «розумних виробів». Слід зазначити, що це є принципово новим підходом, який базується на наскрізному супроводженні виробу по його життєвому циклу (на базі IEC 62890), що значно розширює можливості індивідуального замовлення та врахування особливостей конкретного екземпляра (виробу). У такому підприємстві засоби виробництва взаємодіють з «розумними виробами» для додавання до них додаткової цінності з урахуванням їх індивідуальних особливостей. Крім того, це дає змогу легше супроводжувати виріб по всьому життєвому циклі як на етапі виготовлення, так і при його супроводженні. Найбільш актуальною така модель є для дискретних процесів. Окрім нижнього рівня, для використання глобальних ресурсів (даних і сервісів), а також прямої взаємодії підприємства чи виробу з клієнтами та іншими стейкхолдерами, модель RAMI 4.0 передбачає наявність рівня «Connected World» (під'єднаний світ). Це значно розширює можливості систем керування.

Слід зазначити, що модель обладнання не накладає жодних вимог щодо технічної реалізації системи керування. Це може бути класична багаторівнева система, наприклад, PLC-SCADA-MES-ERP, або розподілена система згідно з моделлю Industry4.0, де взаємодія між засобами відбувається безпосередньо. Тому засіб автоматизації може реалізовувати керування обладнанням будь-якого рівня відповідно до цієї моделі.

Моделі ресурсів, описані відповідно до вимог ISA-95, надають можливість зробити запит на доступне на даний момент обладнання, персонал, матеріали

та інші ресурси, які можуть бути задіяні у виробництві на момент запиту або в майбутньому. Враховуючи, що всі моделі взаємозв'язані, ресурс може бути вказаний як посилання (лінк) як в означенні продукту, так і виробничого плану чи фактичних показників виробництва.

Виробничий план. Правила формування виробничих планів не описані в наведених стандартах, тому що це суттєво залежить від об'єкта керування та підходів до організації виробничих процесів. Однак передбачається, що підсистема, яка буде займатися формуванням та керуванням виробничим графіком, оперуватиме описаними в стандартах моделями. Зокрема, вона буде орієнтуватися на необхідний план вироблення продукції, який передається з верхніх рівнів, означення продукту і доступних в потрібний момент ресурсів, які в ньому вказані. Згідно з ISA-95, загальний виробничий план (Production Schedule) з випуску продукції (рис. 4), який означений на рівні організаційно-економічного керування, спускається до функцій детального планування виробництва (Detailed Production Scheduling), які формують робочий план-графік (Work Schedule). Формування проводиться відповідно до означення продуктів, які необхідно виробити, та доступних для цього ресурсів (обладнання, персоналу, матеріалів).

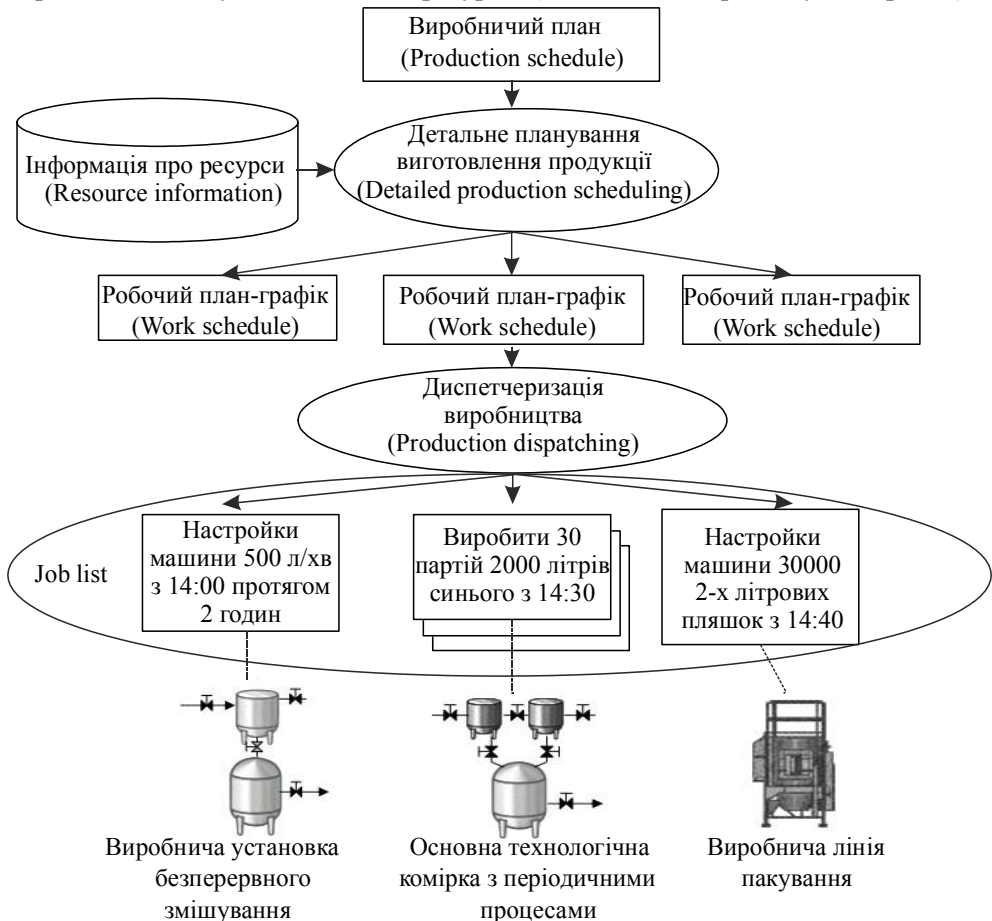


Рис. 4. Ієрархія планування

Згідно з ISA-88, планування та виробничі графіки є одним із видів керівної діяльності, необхідного для керування періодичними процесами. Графік виробництва партій визначає, які апарати в який момент часу будуть використовуватися для вироблення конкретної партії продукту. Розглянемо зв'язок планування через призму всіх рівнів підприємства (рис. 4, 5). Виробничий план (нагадуємо, що виготовлення продукції — один із видів операційної діяльності підприємства) у результаті детального планування (Detailed Scheduling) розподіляється між робочими центрами у вигляді робочих планів-графіків (Work Schedule). Функція диспетчерського керування (Dispatching) в реальному часі формує та відслідковує виконання списку робіт у конкретному робочому центрі (технологічній комірці). Керування та контроль технологічною коміркою виконується відповідно до означення продукту, який згідно з ISA-88 для кожної партії задається керівним рецептом (Control Recipe).

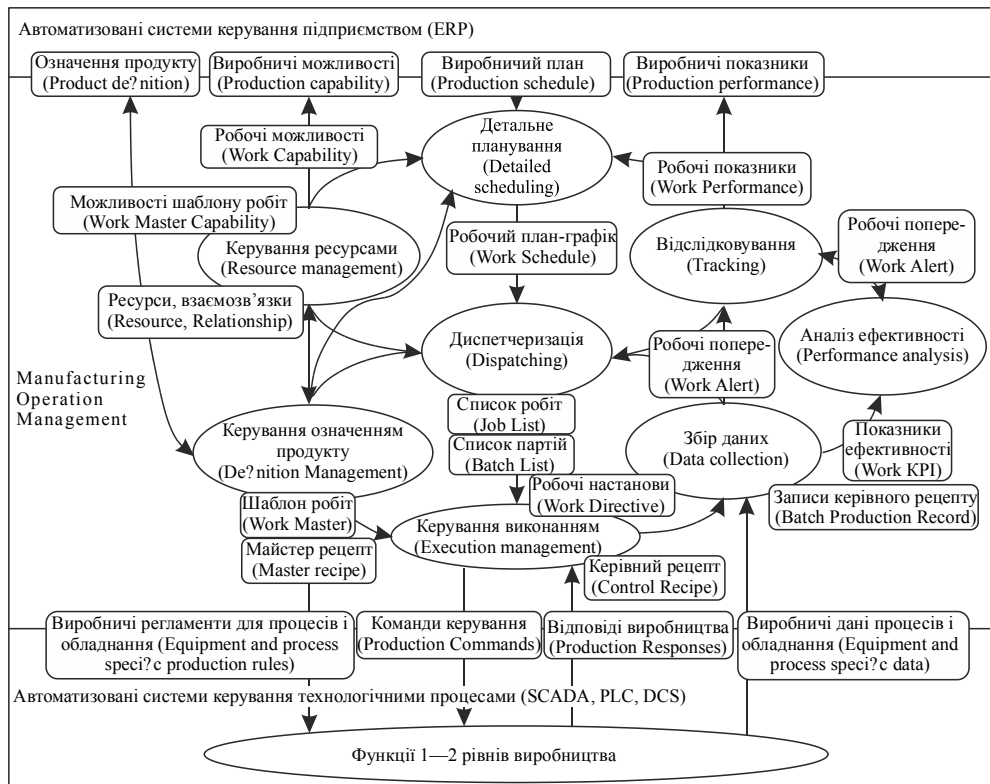


Рис. 5. Інформаційні потоки між функціями рівня MES/MOM та іншими згідно з ISA-95

Слід зауважити, що послідовне «спускання» графіків проводиться тільки після виконання функції планування, яка, у свою чергу, запитує з нижніх рівнів наявні ресурси. Тобто таке рішення приймається в результаті постійного двостороннього обміну між різними рівнями керування. На рис. 5 видно, що організаційно-економічний рівень отримує з MES/MOM інформацію про виробничі можливості (Production Capability). Тут доречно відмітити, що в

ISA-95 є ряд моделей, які об'єднують різні типи інформації (різних ресурсів, діяльності) і називаються сегментами (сегмент процесу, сегмент продукту). Виробничі можливості надаються верхньому рівню через сегмент процесу.

За рис. 5 можна прослідити ієрархію означення продукту: Product Definition (рівень ERP) → Work Master (рівень MES/MOM) → Master Recipe (рівень АСКТП). Враховуючи, що означення продукту передбачає можливість його використання на різному обладнанні, для конкретного лоту і партії будуть створені унікальні їх екземпляри, відповідно Work-Directive та Work Recipe, які також будуть слугувати маркером для історії створення партії та лоту. Слід у черговий раз відмітити, що партія в даному випадку є частиною лоту.

При детальному вивченні стандартів можна помітити, що функції планування, які означені в ISA-88 та ISA-95, можуть не тільки бути частиною єдиної ієрархії, але й перекриватися. Це саме стосується і інших керівних функцій. Наприклад, згідно зі стандартом ISA-88 партія продукту (Batch) може бути як повністю готовим до споживання продуктом, так і напів-продуктом (проміжним продуктом виробництва). Насамперед це пов'язано з універсальністю моделі, адже MES/MOM функціонує не тільки в періодичному виробництві. Крім того, не всі системи керування реалізують повний функціонал ISA-88. З іншого боку, програмні продукти, що реалізують весь функціонал ISA-88, можуть використовуватися на рівні MES/MOM.

Фактичні показники виробництва. Для контролю за виконанням виробничих графіків, аналізу виробництва в реальному часі та ретроспективних даних система повинна надавати інформацію про стан об'єкта та процесів. Для опису цієї інформації означено ряд моделей та їх комбінацій. Розглянемо шляхи слідування інформаційних потоків з фактичними показниками виробництва через ієрархію керування (рис. 5). Дані про стан процесу надходять на рівень MES/MOM через функцію збору даних (Data Collection). Окрім збору і надання іншим функціям даних режиму реального часу, ця функція також забезпечує архівування даних з подальшим їх переглядом. Зібрані дані в «сирому» вигляді не потрібні виробничому персоналу MES/MOM та ERP, тому їх попередньо необхідно обробити до максимальної інформативності. Тобто зібрані дані, як правило, перевіряються на знаходження в межах нормативних значень (Alert), а також відображаються у вигляді ключових показників ефективності (KPI). Останні можуть також проходити перевірку для формування в реальному часі попереджень (Work Alert) про недостатньо хорошу роботу апарата, процесу чи машини через функції аналізу ефективності (Performance Analysis). Враховуючи велике значення методики розрахунку KPI на виробництві, недавно був розроблений стандарт ISO 22400, друга частина якого описує типовий набір показників ефективності та алгоритми їх розрахунку [30].

Важливою функцією MES/MOM є відслідковування (Tracking), або генеалогія, що дає змогу визначати історію виготовлення конкретної партії чи лоту продукту: задані та дійсні технологічні параметри, при яких готувався продукт; якісні та кількісні показники сировини й продукту; означення продукту тощо. Згідно з ISA-88, для періодичних процесів відслідковування забез-

печується шляхом аналізу архівних записів керівного рецепту (Batch Production Record) за його номером партії.

Підсумовуючи опис основних ідей керування виробничим підприємством, наведемо їх функціонал. ISA-95 — це стандарти, в яких описується організація функціонування інтегрованого виробництва та наведені моделі даних, якими обмінюються функціональні частини інтегрованої системи керування підприємством. Тобто ISA-95 — це стандарт інтеграції ERP з MOM, MOM з АСКТП та складових MES/MOM між собою. ISA-88 — це стандарти керування періодичними виробництвами. Так як і в ISA-95, в основі стандарту лежать принципи означення продукту (в рецепті) та означення ресурсу-обладнання, на якому виконується цей рецепт. Усі інші ресурси (персонал, матеріали, енергоресурси) входять в рецепт як формули або додаткові вимоги. У рецепт, окрім формули, входить також процедура — технологічна програма виготовлення продукту. Рецепт, в тому числі і його процедура, створюється технологами без необхідності внесення змін у систему керування. Це і є основною перевагою систем, побудованих на базі ISA-88, над класичними монолітними системами керування, адже нові продукти можна створювати без модернізації існуючої системи. Зауважимо, що в параметри рецепту можуть входити також аварійні межі й алгоритми обробки винятків, які залежать від технології продукту. Кожна партія (batch) виготовленого продукту керується на базі унікального керівного рецепту, який зберігається в архіві разом зі значенням технологічних змінних процесу, при яких готувалася ця партія. Такий підхід надає можливість відслідковувати історію виготовлення партії за її ідентифікатором. Це ще один великий здобуток даного стандарту. Технології стандарту полегшують планування, що робить гнучкішим використання обладнання.

Висновки

Як уже зазначалося на початку, незважаючи на перевірену в усьому світі ефективність вказаних стандартів, в Україні вони мало відомі. Опитування в соціальних мережах, спілкування з виробничим персоналом підприємств, представниками світових брендів та інтеграторами в Україні, представниками ВНЗ підтвердило дуже слабку обізнаність навіть в існуванні даних стандартів, не кажучи про їх призначення, а тим більше використання. Це свідчить про незадовільний стан підготовки українських інженерів з автоматизації на рівні виробництва.

Ряд виробництв з домінуючими періодичними процесами (наприклад, фармацевтичне) на рівні обов'язкових для впровадження міжнародних стандартів вимагають використання ISA-88. Відсутність функціоналу, що базується на рецептурному керуванні, не дає змоги створювати нові рецепти та проводити генеалогію продукту, не кажучи вже про оперативне планування. Трапляються випадки використання інженерами з автоматизації інструментальних засобів на базі ISA-88 без знання принципів їх функціонування. У більшості ж випадків необхідний функціонал розробляється самостійно, що значно затягує життєвий цикл проекту та ускладнює інтеграцію підсистем в єдину систему.

З основними концепціями і результатами використання стандарту ISA-106 можна ознайомитися в Інтернеті. Як відмічав Дейв Емерсон [31], автоматизація процедур запуску, зупинки, виходу з нештатної ситуації та переходу на інший продукт надають можливість забезпечити технологічний процес від аварій і зменшити часові й енергетичні втрати. Такі підходи не є новими, зокрема вони відомі спільноті науковців як підсистеми підтримки прийняття рішень. Однак більшість систем керування неперервним виробництвом традиційно базуються виключно на регулюванні.

Щодо стандартів ISA-95, то їх застосування в інструментальних засобах MES/MOM та ERP не є тотальним. Велика частина реалізацій не опираються на даний стандарт, а зроблені з використанням власних підходів і важко інтегруються з іншими підсистемами. Разом з тим, у всіх цих реалізаціях часто зустрічаються загальні вади, причиною яких є невідповідність нижніх рівнів керування. Так, наприклад, неодноразово спостерігалася відсутність контролю достовірності даних, що унеможливило надійний розрахунок балансів та KPI на верхніх рівнях [4]. Це потребує розробки нижніх рівнів керування підприємством з урахуванням їх інтеграції в інтегровану систему керування. Єдина модель обладнання ISA-95, ISA-88, ISA-106 дає змогу розробляти програмне забезпечення, скажімо, для ПЛК та SCADA/HMI, з урахуванням їх подальшої інтеграції з верхнім рівнем.

На нашу думку, варто розглядати дані стандарти як посібники з автоматизації виробництва та інтеграції систем керування, тому що вони чітко означають необхідні функції та їх взаємодію. У стандартах наведені принципи декомпозиції й агрегування класичних функцій інтегрованих систем керування, що вже є великим досягненням. Одна з базових концепцій стандартів — це стан-орієнтовне керування, яке є складовою всіх компонентів моделі, що неодноразово довела свої переваги, що повинно стати аргументом для взяття на озброєння цього підходу усіма програмістами АСКТП. На сьогодні немає жодного аналогу наведеному вище стандартам, у них зібрані результати роботи передових організацій у галузі автоматизації та наукових досліджень.

Популяризація та навіть розвиток цих стандартів в Україні вкрай необхідні. Українська системна інтеграція володіє сильними і перспективними кадрами, однак тривале орієнтування на східні ринки зробило їм медвежу послугу. Ми закликаємо до спільного просування та розвитку стандартів через професійні спільноти та через створення україномовних посібників і статей просвітницького характеру. На кафедрі ІАСУ Національного університету харчових технологій (НУХТ) вже зроблені перші кроки в цьому напрямку. Протягом останніх двох років групою викладачів і магістрантів проводяться роботи з перекладу стандартів, технічних звітів і статей. Для популяризації даних стандартів створений сайт, на якому викладаються всі найважливіші матеріали [32]. Крім того, НУХТ є членом асоціації промислових підприємств автоматизації України (АППАУ), яка популяризує ці стандарти по всій Україні. Зараз АППАУ координує роботи зі створення технічного комітету в ДСТУ, мета якого розробка, переклад і затвердження сучасних стандартів у галузі автоматизації, у якому стандарт ISA-88/95, а також суміжні з ним є пріоритетними. Окрім просвітницької діяльності, на

кафедрі ІАСУ у рамках НДР розробляється програмний каркас для ПЛК, який повністю сумісний з наведеними вище стандартами. Ми пропонуємо вищим навчальним закладам та іншим фахівцям у цій галузі приєднатися до цього руху, що значно просуне Україну в розвитку.

Література

1. Пупена О.М. Интеграция систем управления / О.М. Пупена, І.В. Ельперін. // Харчова і переробна промисловість. — 2005. — № 1. — С. 9—11.
2. Manufacturing Execution Systems — MES / [J. Kletti, V. Berres, O. Brauckmann та ін.]. — New York: Springer Berlin Heidelberg, 2007. — 276 p.
3. Meyer H. Manufacturing Execution Systems. Optimal Design, Planning, and Deployment / H. Meyer, F. Fuchs, K. Thiel, 2009. — 248 p.
4. Ицкович Э.Л. Методы комплексной автоматизации производства предприятий технологических отраслей: Построение MES Контроль и учет работы производства Сведение материального баланса Календарное планирование Оперативное управление Обслуживание и ремонт оборудования Авто / Э.Л. Ицкович. — Москва: КРАСАНД, 2013. — 232 с.
5. MESA International [Електронний ресурс]. — Режим доступу: www.mesa.org.
6. International Society of Automation [Електронний ресурс]. — Режим доступу: www.isa.org.
7. Так что же такое Industry 4.0? [Електронний ресурс] // Фонд МСБ. — 2015. — Режим доступу: http://www.msbfond.ru/about/treatment/tak_chno_zhe_takoe_industry_4_0/.
8. Індустрія 4.0 — що це таке та навіщо це Україні [Електронний ресурс] // АППАУ. — 2015. — Режим доступу: http://appau.org.ua/ru/INDUSTRY_4-0%E2%80%93cho-ce-ta-navicho-ce-Ukraini.
9. INDUSTRY 4.0 — як уникнути плутанини та об'єднатись [Електронний ресурс] // АППАУ. — 2015. — Режим доступу: http://appau.org.ua/INDUSTRY_4-0%E2%80%93yak_unyknuty_plutanyuny_ta_obednatys.
10. Підбір статей по інтеграції від асоціації промислових підприємств автоматизації України (АППАУ) [Електронний ресурс] // АППАУ. — 2015. — Режим доступу: www.appau.org.ua/search?text=ISA+95.
11. Enterprise/Control System Integration. Part 1: Models and Terminology: ANSI/ISA-95.00.01-2010. — [Чинний від 2010-01-01]. — USA: International Society of Automation, 2010. — P. 164.
12. Enterprise/Control System Integration. Part 2: Object Model Attributes: ANSI/ISA - 95.00.02-2010. — [Чинний від 2010-01-01]. — USA: International Society of Automation, 2010. — P. 152.
13. Enterprise/Control System Integration. Part 3: Activity Models of Manufacturing Operations Management: ANSI/ISA-95.00.03-2013. — [Чинний від 2013-01-01]. — USA: International Society of Automation, 2013. — P. 182.
14. Интеграция систем управления предприятием. Часть 1: Модели и терминология: ГОСТ Р МЭК 62264-1 2010. — [Чинний від 2010-01-01]. — Москва: Межгосударственным советом по стандартизации, 2010. — С. 163.
15. Batch Control. Part 1: Models and Terminology: ANSI/ISA-88.00.02-2001. — [Чинний від 2010-01-01]. — USA: International Society of Automation, 2010. — P. 164.
16. Batch Control. Part 2: Data Structures and Guidelines for Languages: ANSI/ISA-88.00.01-2001. — [Чинний від 2001-01-01]. — USA: International Society of Automation, 2001 — P. 174.
17. Batch Control. Part 3: General and Site Recipe Models and Representation: ANSI/ISA-88.00.03-2003. — [Чинний від 2003-01-01]. — USA: International Society of Automation, 2003. — P. 152.
18. Batch Control. Part 4: Batch Production Records: ANSI/ISA-88.00.04-2006. — [Чинний від 2006-01-01]. — USA: International Society of Automation, 2006. — P. 131.

19. Batch Control. Technical report: Machine and Unit States: An Implementation Example of ISA-88: ISA-TR88.00.02-2006. — [Чинний від 2006-01-01]. — USA: International Society of Automation, 2006. — P. 150.
20. Batch Control. Technical report: Batch Control and Enterprise-Control System Integration, Using ISA-88 and ISA-95 Together: ISA TR 88/95.00.01-2010. — [Чинний від 2010-01-01]. — USA: International Society of Automation, 2010. — P. 184.
21. Batch Control. Part 1: Models and Terminology: IEC 61512-1:1997. — [Чинний від 1997-01-01]. — International electrotechnical commission, 1997. — P. 164.
22. Implementation Strategy Industrie4.0 (Report on the results of the Industrie 4.0 Platform 01.2016) [Електронний ресурс] // ZVEI. — 2016. — Режим доступу: <http://www.zvei.org/Publikationen/Implementation-Strategy-Industrie-40-ENG.pdf>.
23. Reference Architecture Model Industrie 4.0 (RAMI4.0 Status Report 07.2015) [Електронний ресурс] // ZVEI. — 2016. — Режим доступу: <http://www.zvei.org/Publikationen/GMA-Status-Report-RAMI-40-July-2015.pdf>.
24. Structure of the Administration Shell Continuation of the Development of the Reference Model for the Industrie 4.0 Component (2016) [Електронний ресурс] // ZVEI. — 2016. — Режим доступу: http://www.plattform-i40.de/140/Redaktion/EN/Downloads/Publikation/structure-of-the-administration-shell.pdf?__blob=publicationFile&v=5.
25. Козлецов А.П. Применение стандарта ISA 95 для интеграции информационных систем на производственном предприятии / А.П. Козлецов, И.С. Решетников. // Автоматизация в промышленности. — 2010. — С. 9—16.
26. Batch Control Using the ANSI/ISA-88 Standard. // BR&L Consulting. — 2007. — P. 4
27. Dwiggin R. ISA-88 Batch Control: Standard Summary & Update ISA Tarheel Capital / Randy Dwiggin. — 2010. — P. 6
28. Williams T. ISA-106 and Automated Procedures / Tom Williams. // Honeywell Users Group Americas. — 2012. — P. 4
29. ISA-106: Using Procedural Automation to Improve Operational Efficiency. // 2013 ISA Water / Wastewater and Automatic Controls Symposium. — 2013. — P. 14
30. Automation systems and integration. Key performance indicators (KPIs) for manufacturing operations management. Part 2: Definitions and descriptions: ISO 22400-2:2014. — [Чинний від 2014-01-01]. — International Organization for Standardization, 2014. — P. 80.
31. Емерсон Д. ISA-106 і важливість автоматизації ручних процедур [Електронний ресурс] / Дейв Емерсон. — Режим доступу: <https://sites.google.com/site/isa88inua/isa-106/isa-106-i-vazlivist-avtomatizacii-rucnih-procedur>.
32. ISA-88/95/106 в Україні [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://sites.google.com/site/isa88inua/home>.

СОВРЕМЕННЫЕ СТАНДАРТЫ ИНТЕГРИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ И ПУТИ ИХ ВНЕДРЕНИЯ В УКРАИНЕ

О.Н. Пупена, И.В. Эльперин, Р.Н. Миркевич
Национальный университет пищевых технологий

В статье рассмотрены современные международные стандарты по разработке интегрированных автоматизированных систем управления. Показана область действия стандартов в контексте иерархической модели предприятия, а также эталонной модели устройств RAMI платформы Industry 4.0. Суть стандартов описывается через призму основных описательных моделей: определение продукта, ресурсов, планов-графиков и фактических показателей производственной деятельности. Определение продукта предполагает иерархическое представление продуктов на разных уровнях управления.

Большое внимание уделяется описанию такого типа ресурсов, как оборудование, которое является связным звеном для всех приведенных стандартов. Показывается иерархия планирования ERP-MES(MOM)-SCADA (с точки зрения стандарта ISA-95), в которой прослеживается декомпозиция общих производственных планов предприятия в конкретные работы на уровне АСУТП. Рассматривается назначение фактических показателей производства на уровне MES/MOM с учетом KPI. Через общие схемы диаграммы взаимосвязи деятельности и информационные потоки между функциями показана обобщенная картина операционной деятельности предприятия на уровне MES/MOM.

Ключевые слова: ISA-95, ISA-88, Manufacturing Operations Management, MES, RAMI 4.0, Industry 4.0.